

鹿仙草乙酸乙酯部位化学成分及其酪氨酸酶抑制活性研究

陈章贤，王海名，张云涛，邓茂鑫，朱奎霖，邹金莲，王见，韦姗姗，何红平，董发武*
(云南中医药大学中药学院，云南省南药可持续利用重点实验室，云南 昆明 650500)

摘要：目的 研究鹿仙草乙酸乙酯部位化学成分及其酪氨酸酶抑制活性。方法 采用硅胶、MCI、ODS、Sephadex LH-20 及半制备 HPLC 进行分离纯化，根据理化性质及波谱数据鉴定所得化合物结构。通过酪氨酸酶催化 *L*-酪氨酸测定单酚酶抑制活性。结果 从中分离得到 24 个化合物，分别鉴定为芝麻素 (1)、咖啡酸甲酯 (2)、槲皮素 (3)、5, 7-二羟基色原酮 (4)、3, 4-二羟基苯甲酸甲酯 (5)、七叶内酯 (6)、山柰酚 (7)、柚皮素 (8)、邻苯三酚 (9)、松脂醇 (10)、对羟基苯丙酸甲酯 (11)、咖啡酸 (12)、圣草酚 (13)、阿魏酸 (14)、反式对羟基桂皮酸 (15)、肉桂酸 (16)、香草酸 (17)、香草醛 (18)、4-羟基苯乙酮 (19)、对羟基苯甲醛 (20)、5, 7, 4'-三羟基黄酮 (21)、异落叶松脂素 (22)、开环异落叶松树脂酚 (23)、meso-2, 3-di (3', 4'-methylenedioxybenzyl) butane-1, 4-diol (24)。化合物 3、5、7、8、19、20 的 IC₅₀ 值为 (0.246 5±0.028 3) ~ (1.278 2±0.021 3) mmol/L。结论 化合物 1~9、11、15、17~21、24 为首次从该植物中分离得到，1、6、9、17~19、24 为首次从蛇菰属植物中分离得到。化合物 3、5、7、8、19、20 具有酪氨酸酶抑制活性。
关键词：鹿仙草；乙酸乙酯部位；化学成分；分离鉴定；酪氨酸酶抑制活性
中图分类号：R284.1 文献标志码：A 文章编号：1001-1528(2025)10-3290-08
doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2025.10.018

Chemical constituents from ethyl acetate fraction of *Balanophora harlandii* and their tyrosinase inhibitory activity

CHEN Zhang-xian, WANG Hai-ming, ZHANG Yun-tao, DENG Mao-xin, ZHU Kui-lin, ZOU Jin-lian, WANG Jian, WEI Shan-shan, HE Hong-ping, DONG Fa-wu*
(Yunnan Provincial Key Laboratory for Sustainable Utilization of Southern Medicines; School of Chinese Medicine, Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming 650500, China)

ABSTRACT: **AIM** To study the chemical constituents from ethyl acetate fraction of *Balanophora harlandii* Hook. f. and their tyrosinase inhibitory activity. **METHODS** Separation and purification were performed using silica gel, MCI, ODS, Sephadex LH-20 and semi-preparative HPLC, then the structures of obtained compounds were identified by physicochemical properties and spectral data. The monophenolase inhibitory activity was determined by the tyrosinase-catalyzed oxidation of *L*-tyrosine. **RESULTS** Twenty-four compounds were isolated and identified as sesamin (1), methyl caffeate (2), quercetin (3), 5, 7-dihydroxychromanone (4), methyl 3, 4-dihydroxybenzoate (5), esculetin (6), kaempferol (7), naringenin (8), pyrogalllic acid (9), pinosylvin (10), methyl propionate (11), caffeic acid (12), saccharinol (13), ferulic acid (14), *trans-p*-hydroxycinnamic acid (15), cinnamic acid (16), vanillic acid (17), vanillin (18), 4-hydroxyacetophenone (19), 4-hydroxybenzaldehyde (20), apigenin (21), (–)-isolariciresinol (22), (–)-secoisolariciresinol (23) and meso-2, 3-di (3', 4'-methylenedioxybenzyl) butane-1, 4-diol (24). The IC₅₀ values of compounds 3, 5, 7, 8,

收稿日期：2025-03-06
基金项目：国家自然科学基金项目 (31860092, 82260758)；云南省基础研究计划面上项目 (202101AT070254)；云南省科技人才和平台计划 (202105AG070012XS23003)
作者简介：陈章贤 (1999—)，女，硕士生，从事中药、民族药药效物质基础研究。E-mail: 1728244941@qq.com
* 通信作者：董发武 (1985—)，男，教授，从事中药、民族药改善男性不育相关疾病的药效物质基础研究。E-mail: 593742545@qq.com

19, and **20** ranged from (0.246 5±0.028 3) to (1.278 2±0.021 3) mmol/L. **CONCLUSION** Compounds **1**–**9**, **11**, **15**, **17–21**, **24** are isolated from this plant for the first time, and **1**, **6**, **9**, **17–19**, **24** are first isolated from genus *Balanophora*. Compounds **3**, **5**, **7**, **8**, **19** and **20** have tyrosinase inhibitory activity.

KEY WORDS: *Balanophora harlandii* Hook. f.; ethyl acetate fraction; chemical constituents; isolation and identification; tyrosinase inhibitory activity

鹿仙草是蛇菰科蛇菰属植物简鞘蛇菰 *Balanophora involucrata* Hook. f.、红冬蛇菰 *Balanophora harlandii* Hook. f. 的全草^[1], 为双子叶多年生寄生肉质草本植物, 其中前者常寄生于杜鹃属植物的根上, 后者主要寄生于密花豆、红霉水葛等植物的根上^[2], 分布于我国四川、云南、广东、广西、福建、湖北等地, 全株入药, 其味苦、甘、平, 性凉, 归心、脾、胃、肾经, 具有壮阳补肾、清热止血、理气健胃功效, 主治肾虚腰痛、虚劳出血^[3-4]。它为彝族、苗族、壮族等少数民族常用药物, 在治疗慢性肝炎、外伤出血、醉酒及抗肿瘤、降血糖等方面发挥着重要作用^[5]。

研究表明, 黑色素过度沉淀可导致肤色不均、暗沉及色斑生成; 黑色素细胞存在于表皮基底层, 其中酪氨酸在酪氨酸酶作用下先氧化成多巴, 再氧化成多巴醌, 从而形成黑色素^[6], 而芳香族化合物, 如光甘草定、熊果苷、曲酸等具有显著的酪氨酸酶抑制活性。虽然鹿仙草中含有黄酮类、苯丙素类、鞣质类等多种芳环化合物, 但目前关于该植物美白活性成分的报道较少。因此, 本实验对鹿仙草化学成分进行分离鉴定, 并对其进行体外抗酪氨酸酶活性研究, 以期为该植物中美白活性成分的开发利用提供参考依据。

1 材料

1.1 药材 鹿仙草于 2023 年 7 月采自云南省楚雄彝族自治州双柏县, 经云南中医药大学李宏哲副教授鉴定为蛇菰科蛇菰属植物红冬蛇菰 *Balanophora harlandii* Hook. f. 的干燥全草, 凭证标本保存于云南省高校民族药质量标准研究重点实验室 (编号 D2023-001)。

1.2 试剂 *L*-酪氨酸、β-熊果苷、磷酸盐缓冲液 (0.01 mol/L, pH = 6.5) (批号 M29IS216176、T17S6B1、JR25459A, 上海源叶生物科技有限公司); 酪氨酸酶 (批号 0000336565, 美国 Sigma-Aldrich 公司)。乙腈为色谱纯; 石油醚、甲醇等其他试剂均为重蒸的工业纯或化学纯 (云南利妍科技有限公司)。

1.3 仪器 Avance III 400、500 MHz 核磁共振波

谱仪 (德国 Bruker 公司); Agilent 1200 高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司); Tecan Spark 酶标仪 (上海泉佰仪器有限公司); FA2004 电子分析天平 (上海舜宇恒平科学仪器有限公司)。GF₂₅₄ 薄层色谱硅胶 (青岛海洋化工有限公司); 硅胶 (200~300 目, 云南利妍科技有限公司); 反相 C₁₈ 柱色谱材料 (ODS, 德国 Merck 公司); Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶 (美国 Pharmacia 公司); MCI 树脂 (日本三菱化学公司)。

2 提取与分离

取干燥鹿仙草全草 70 kg, 粉碎, 过 1 号筛 (10 目), 加入 3 倍量 85% 乙醇, 加热回流提取 5 次, 每次 2 h, 合并提取液, 减压浓缩, 得浸膏 (38 kg)。浸膏加纯水混悬, 400 目尼龙布过滤, 依次以等体积石油醚、乙酸乙酯、正丁醇各萃取 5 次, 各部位萃取液分别合并, 减压浓缩, 得到石油醚部位 (100 g)、乙酸乙酯部位 (3.4 kg)、正丁醇部位 (3.2 kg) 和水部位 (15 kg)。本实验半制备 HPLC 的体积流量均为 3 mL/min。

取乙酸乙酯部位 (3.4 kg), 按 1 : 1 比例加入 100~200 目硅胶, 拌样上硅胶柱, 先用 2 个柱体积的石油醚脱脂, 再依次以石油醚-乙酸乙酯 (30 : 1、10 : 1、5 : 1、1 : 1)、二氯甲烷-甲醇 (30 : 1、20 : 1、10 : 1、5 : 1、1 : 1) 洗脱, 得到 9 个流分 (Fr. 1~Fr. 9)。

Fr. 4 (137.5 g) 通过 200~300 目硅胶柱分离, 以石油醚-乙酸乙酯 (30 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得 7 个流分 (Fr. 4.1~Fr. 4.7)。Fr. 4.1 (135.6 mg) 经 Sephadex LH-20 分离, 以甲醇洗脱, 得化合物 **1** (4.8 mg)。Fr. 4.2 (17.2 g) 经 Sephadex LH-20 分离, 以甲醇洗脱, 再经半制备 HPLC (检测波长 210、280、254、365 nm, 进样量 20 μL) 分离, 以乙腈-水 (27 : 73) 洗脱, 得化合物 **2** (70 mg, *t_R* = 23.132 min)、**4** (7.5 mg, *t_R* = 18.635 min)、**5** (5 mg, *t_R* = 12.787 min)。Fr. 4.4 (20.1 g) 经反相 ODS 柱分离, 以甲醇-水 (10 : 90~100 : 0) 梯度洗脱, 得 Fr. 4.4.1~Fr. 4.4.5, Fr. 4.4.3 经 Sephadex LH-20 分离, 以甲醇洗脱, 得化合物 **3**

(5.5 mg)、**7** (3.5 mg); Fr. 4. 4. 4 经 Sephadex LH-20 分离, 以甲醇洗脱, 再经半制备 HPLC (检测波长 254 nm, 进样量 35 μ L) 分离, 以乙腈-水 (45 : 55) 洗脱, 得化合物 **10** (18.7 mg, t_R = 11.725 min); Fr. 4. 4. 5 经 Sephadex LH-20 分离, 以甲醇洗脱, 再经半制备 HPLC (检测波长 365、254 nm, 进样量 40 μ L) 分离, 以乙腈-水 (12 : 88) 洗脱, 得化合物 **6** (1.2 mg, t_R = 26.208 min)。Fr. 4. 5 (30.5 g) 经 200~300 目硅胶柱分离, 以石油醚-乙酸乙酯 (5 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 再经反相 ODS 柱分离, 以甲醇-水 (20 : 80~90 : 10) 梯度洗脱, 最后经 Sephadex LH-20 分离, 以甲醇洗脱, 得化合物 **8** (46.8 mg)、**12** (30 mg)。Fr. 4. 6 (11.4 g) 经反相 ODS 柱分离, 以甲醇-水 (20 : 80~100 : 0) 梯度洗脱, 合并得 Fr. 4. 6. 1~Fr. 4. 6. 3, Fr. 4. 6. 1 经半制备 HPLC (检测波长 205、210 nm, 进样量 15 μ L) 分离, 以乙腈-水 (10 : 90) 洗脱, 得化合物 **9** (3.8 mg, t_R = 10.374 min); Fr. 4. 6. 2 经半制备 HPLC (检测波长 210、280 nm, 进样量 55 μ L) 分离, 以乙腈-水 (38 : 62) 洗脱, 得化合物 **11** (3.8 mg, t_R = 15.387 min)。Fr. 4. 7 (15.6 g) 经反相 ODS 柱分离, 以甲醇-水 (20 : 80~100 : 0) 梯度洗脱, 得 Fr. 4. 7. 1~Fr. 4. 7. 3, Fr. 4. 7. 2 经半制备 HPLC (检测波长 210、280 nm, 进样量 50 μ L) 分离, 以乙腈-水 (35 : 65) 洗脱, 得化合物 **15** (17.5 mg, t_R = 18.536 min); Fr. 4. 7. 3 经 Sephadex LH-20 分离, 以甲醇洗脱, 再经半制备 HPLC (检测波长 254 nm, 进样量 50 μ L) 分离, 以乙腈-水 (30 : 70) 洗脱, 得化合物 **13** (8.3 mg, t_R = 22.750 min)。

Fr. 2 (155 g) 经 MCI 柱分离, 以甲醇-水 (30 : 70~100 : 0) 梯度洗脱, 得 Fr. 2. 1~Fr. 2. 5。Fr. 2. 2 (56.8 mg) 经半制备 HPLC (检测波长 280、254 nm, 进样量 30 μ L) 分离, 以乙腈-水 (30 : 70) 洗脱, 得化合物 **16** (4.3 mg, t_R = 34.047 min)、**17** (8.6 mg, t_R = 31.515 min)。Fr. 2. 3 (37.4 g) 经 200~300 目硅胶柱分离, 以石油醚-乙酸乙酯 (30 : 1、15 : 1、7 : 1、5 : 1、1 : 1) 梯度洗脱, 得 Fr. 2. 3. 1~Fr. 2. 3. 5, Fr. 2. 3. 2 经半制备 HPLC (检测波长 230、254 nm, 进样量 75 μ L) 分离, 以乙腈-水 (21 : 79) 洗脱, 得化合物 **18** (3.7 mg, t_R = 16.846 min); Fr. 2. 3. 3 经半制备 HPLC (检测波长 254、280 nm, 进样量 50 μ L) 分离, 以乙腈-水 (18 : 82) 洗脱, 得化合物

19 (6.8 mg, t_R = 24.866 min)、**20** (3.7 mg, t_R = 16.897 min); Fr. 2. 3. 4 经半制备 HPLC (检测波长 254、280 nm, 进样量 40 μ L) 分离, 以乙腈-水 (25 : 75) 洗脱, 得化合物 **14** (32.4 mg, t_R = 22.649 min)、**21** (2.0 mg, t_R = 42.955 min); Fr. 2. 3. 5 经半制备 HPLC (检测波长 210、280 nm, 进样量 60 μ L) 分离, 以乙腈-水 (35 : 65) 洗脱, 得化合物 **24** (4.8 mg, t_R = 58.492 min)。

Fr. 6 (30 g) 经 MCI 柱分离, 以甲醇-水 (30 : 70~100 : 0) 梯度洗脱, 合并得到 3 个流分 (Fr. 6. 1~Fr. 6. 3)。Fr. 6. 2 (9.1 g) 经 200~300 目硅胶柱分离, 以石油醚-乙酸乙酯 (15 : 1~5 : 1) 梯度洗脱, 再经 Sephadex LH-20 分离, 以甲醇洗脱, 最后经半制备 HPLC (检测波长 210、230 nm, 进样量 35 μ L) 分离, 以乙腈-水 (21 : 79) 洗脱, 得化合物 **22** (21.3 mg, t_R = 20.896 min)、**23** (5.6 mg, t_R = 36.534 min)。

3 结构鉴定

化合物 **1**: 白色结晶, ESI-MS m/z : 354.4 $[M+Na]^+$ 。¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 6.85 (2H, d, J = 2.5 Hz, H-2', 2''), 6.71 (2H, d, J = 7.9 Hz, H-5', 5''), 6.80 (2H, dd, J = 7.9, 2.5 Hz, H-6', 6''), 5.95 (4H, s, -OCH₂O), 4.72 (2H, d, J = 4.2 Hz, H-2 β , 6 β), 4.21 (2H, dd, J = 9.2, 6.7 Hz, H-4 α , 8 α), 3.73 (2H, dd, J = 9.2, 3.4 Hz, H-4 β , 8 β), 2.95 (2H, m, H-1 α , 5 α); ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 147.9 (C-3', 3''), 147.1 (C-4', 4''), 134.6 (C-1', 1''), 119.4 (C-6', 6''), 108.1 (C-5', 5''), 106.4 (C-2', 2''), 101.0 (C-7', 7''), 85.8 (C-2, 6), 71.6 (C-4, 8), 54.1 (C-1, 5)。以上数据与文献 [7] 报道基本一致, 故鉴定为芝麻素。

化合物 **2**: 灰白色粉末, ESI-MS m/z : 194.2 $[M+Na]^+$ 。¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD) δ : 7.04 (1H, d, J = 2.1 Hz, H-2), 6.92 (1H, dd, J = 8.2, 2.1 Hz, H-6), 7.53 (1H, d, J = 15.8 Hz, H-7), 3.73 (3H, s, -OCH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD) δ : 127.6 (C-1), 115.1 (C-2), 146.7 (C-3), 149.5 (C-4), 146.9 (C-7), 123.0 (C-6), 116.4 (C-5), 114.7 (C-8), 169.8 (C-9), 52.0 (-OCH₃)。以上数据与文献 [8] 报道基本一致, 故鉴定为咖啡酸甲酯。

化合物 **3**: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 325.4 $[M+Na]^+$ 。¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD) δ : 6.38

(1H, s, H-8), 7.73 (1H, s, H-2'), 7.63 (1H, d, $J=8.5$ Hz, H-6'); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CD_3OD) δ : 148.0 (C-2), 137.3 (C-3), 177.3 (C-4), 162.5 (C-5), 99.2 (C-6), 165.7 (C-7), 94.4 (C-8), 158.2 (C-9), 104.5 (C-10), 148.8 (C-4'), 146.2 (C-3'), 121.6 (C-6'), 116.2 (C-5'), 116.0 (C-2'), 124.1 (C-1')。以上数据与文献 [9] 报道基本一致, 故鉴定为槲皮素。

化合物 4: 褐色粉末, ESI-MS m/z : 179.3 $[\text{M}+\text{H}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.97 (1H, d, $J=6.0$ Hz, H-2), 6.22 (1H, d, $J=2.0$ Hz, H-6), 6.33 (1H, d, $J=2.1$ Hz, H-8), 6.17 (1H, d, $J=6.0$ Hz, H-3); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 158.1 (C-2), 111.6 (C-3), 183.4 (C-4), 163.5 (C-5), 100.3 (C-6), 166.5 (C-7), 95.2 (C-8), 159.9 (C-9), 106.5 (C-10)。以上数据与文献 [10] 报道基本一致, 故鉴定为 5, 7-二羟基色原酮。

化合物 5: 白色针晶, ESI-MS m/z : 169.1 $[\text{M}+\text{H}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.41 (1H, d, $J=2.0$ Hz, H-2), 6.80 (1H, d, $J=8.9$ Hz, H-5), 7.42 (1H, d, $J=2.0$ Hz, H-6), 3.82 (3H, s, $-\text{OCH}_3$); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 152.0 (C-4), 146.3 (C-3), 123.6 (C-6), 117.3 (C-5), 115.9 (C-2), 122.4 (C-1), 52.2 ($-\text{OCH}_3$), 168.9 ($-\text{COOCH}_3$)。以上数据与文献 [11] 报道基本一致, 故鉴定为 3, 4-二羟基苯甲酸甲酯。

化合物 6: 白色无定形粉末, ESI-MS m/z : 177.6 $[\text{M}-\text{H}]^-$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 6.15 (1H, s, H-3), 7.77 (1H, s, H-4), 6.92 (1H, s, H-5), 6.73 (1H, s, H-8); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 112.1 (C-10), 152.7 (C-9), 103.6 (C-8), 150.6 (C-7), 144.8 (C-6), 112.8 (C-5), 146.1 (C-4), 112.6 (C-3), 164.4 (C-2)。以上数据与文献 [12] 报道基本一致, 故鉴定为七叶内酯。

化合物 7: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 309.3 $[\text{M}+\text{Na}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, CD_3OD) δ : 6.19 (1H, d, $J=2.0$ Hz, H-6), 8.06 (2H, d, $J=9.0$ Hz, H-2', 6'), 6.88 (1H, d, $J=9.0$ Hz, H-3', 5'); $^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz, CD_3OD) δ : 148.1 (C-2), 137.2 (C-3), 177.4 (C-4), 158.3 (C-5), 99.3 (C-6), 165.6 (C-7), 94.5 (C-8), 162.5 (C-9),

23.7 (C-1'), 130.7 (C-2', 6'), 160.6 (C-4'), 116.3 (C-3', 5'), 104.6 (C-10)。以上数据与文献 [13] 报道基本一致, 故鉴定为山柰酚。

化合物 8: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 273.1 $[\text{M}+\text{H}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 9.17 (1H, dd, $J=13.1, 2.9$ Hz, H-2), 6.94 (1H, dd, $J=17.1, 13.0$ Hz, H-3a), 6.58 (1H, dd, $J=17.1, 3.0$ Hz, H-3b), 9.82 (2H, brs, H-6, 8), 11.15 (2H, d, $J=8.5$ Hz, H-2', 6'), 10.72 (2H, d, $J=8.5$ Hz, H-3', 5'), 11.22 (1H, s, $-\text{OH}$), 15.92 (2H, s, $-\text{OH}$); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 102.4 (C-10), 163.3 (C-9), 95.6 (C-8), 166.8 (C-7), 96.4 (C-6), 163.8 (C-5), 196.1 (C-4), 43.0 (C-3), 79.0 (C-2), 129.3 (C-1'), 157.4 (C-4'), 127.8 (C-2', 6'), 115.5 (C-3', 5')。以上数据与文献 [14] 报道基本一致, 故鉴定为柚皮素。

化合物 9: 白色粉末, ESI-MS m/z : 127.3 $[\text{M}+\text{H}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CD_3OD) δ : 6.48 (1H, t, $J=8.0$ Hz, H-5), 6.30 (2H, d, $J=8.0$ Hz, H-4, 6); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CD_3OD) δ : 147.2 (C-1, 3), 134.3 (C-2), 120.1 (C-5), 108.3 (C-4, 6)。以上数据与文献 [15] 报道基本一致, 故鉴定为邻苯三酚。

化合物 10: 白色无定形粉末, ESI-MS m/z : 359.2 $[\text{M}+\text{H}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 6.95 (2H, d, $J=2.0$ Hz, H-2, 2'), 6.77 (2H, d, $J=8.1$ Hz, H-5, 5'), 6.81 (2H, dd, $J=8.1, 2.0$ Hz, H-6, 6'), 4.71 (2H, d, $J=4.0$ Hz, H-7, 7'), 3.14 (2H, m, H-8, 8'), 4.23 (2H, dd, $J=9.2, 6.8$ Hz, H-9a, 9'a), 3.85 (2H, dd, $J=9.2, 3.3$ Hz, H-9b, 9'b), 3.83 (6H, s, 3, 3'- OCH_3); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 133.7 (C-1, 1'), 110.9 (C-2, 2'), 149.1 (C-3, 3'), 147.3 (C-4, 4'), 116.1 (C-5, 5'), 120.1 (C-6, 6'), 87.5 (C-7, 7'), 55.3 (C-8, 8'), 72.6 (C-9, 9'), 56.4 (C- OCH_3)。以上数据与文献 [16] 报道基本一致, 故鉴定为松脂醇。

化合物 11: 油状物, ESI-MS m/z : 203.2 $[\text{M}+\text{Na}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.01 (2H, d, $J=8.5$ Hz, H-2, 6), 6.69 (2H, d, $J=8.5$ Hz, H-3, 5), 2.57 (2H, t, $J=7.6$ Hz, H-8), 3.63 (3H, s, $-\text{OCH}_3$); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 132.6 (C-1), 130.2 (C-2, 6), 156.7 (C-4),

116.2 (C-3, 5), 37.1 (C-7), 31.2 (C-8), 175.1 (C-9), 52.0 (C-OCH₃)。以上数据与文献 [17] 报道基本一致, 故鉴定为对羟基苯丙酸甲酯。

化合物 **12**: 白色晶体, ESI-MS m/z : 181.2 [M+H]⁺。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 7.04 (1H, d, $J=2.1$ Hz, H-2), 6.78 (1H, d, $J=8.1$ Hz, H-5), 6.93 (1H, dd, $J=8.1, 2.0$ Hz, H-6), 7.53 (1H, d, $J=15.8$ Hz, H-7), 6.22 (1H, d, $J=15.8$ Hz, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 171.2 (C-9), 115.6 (C-8), 147.0 (C-7), 122.9 (C-6), 116.5 (C-5), 149.3 (C-4), 146.7 (C-3), 115.1 (C-2), 127.8 (C-1)。以上数据与文献 [18] 报道基本一致, 故鉴定为咖啡酸。

化合物 **13**: 灰白色粉末, ESI-MS m/z : 289.3 [M+H]⁺。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 5.89 (2H, dd, $J=12.8, 2.2$ Hz, H-6, 8), 6.92 (1H, d, $J=1.7$ Hz, H-2'), 6.79 (2H, d, $J=2.2$ Hz, H-5', 6'); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 103.3 (C-10), 164.9 (C-9), 96.2 (C-8), 168.5 (C-7), 97.1 (C-6), 165.5 (C-5), 197.6 (C-4), 44.1 (C-3), 80.5 (C-2), 119.2 (C-6'), 116.2 (C-5'), 146.9 (C-4'), 146.5 (C-3'), 114.7 (C-2'), 131.8 (C-1')。以上数据与文献 [19] 报道基本一致, 故鉴定为圣草酚。

化合物 **14**: 浅黄色固体, ESI-MS m/z : 195.2 [M+H]⁺。¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD) δ : 7.53 (1H, d, $J=15.9$ Hz, H-7), 6.96 (1H, dd, $J=8.1, 2.0$ Hz, H-6), 3.74 (3H, s, -OCH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD) δ : 171.2 (C-9), 111.8 (C-8), 146.9 (C-7), 123.8 (C-6), 116.8 (C-5), 149.5 (C-4), 150.3 (C-3), 116.5 (C-2), 127.7 (C-1), 56.3 (C-OCH₃)。以上数据与文献 [20] 报道基本一致, 故鉴定为阿魏酸。

化合物 **15**: 淡黄色粉末, ESI-MS m/z : 165.1 [M+H]⁺。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 6.25 (1H, d, $J=15.6$ Hz, H-8), 7.55 (1H, d, $J=15.6$ Hz, H-7), 6.81 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-3, 5); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 170.8 (C-9), 115.8 (C-8), 145.5 (C-7), 116.5 (C-3, 5), 160.3 (C-4), 130.6 (C-2, 6), 126.6 (C-1)。以上数据与文献 [21] 报道基本一致, 故鉴定为反式对羟基桂皮酸。

化合物 **16**: 白色固体, ESI-MS m/z : 149.2 [M+H]⁺。¹H-NMR (500 MHz, CD₃OD) δ : 6.48

(1H, d, $J=16.0$ Hz, H-8), 7.59 (2H, dd, $J=6.4, 3.3$ Hz, H-2, 6), 7.40 (3H, dd, $J=5.0, 2.0$ Hz, H-3 ~ 5); ¹³C-NMR (125 MHz, CD₃OD) δ : 170.4 (C-9), 119.5 (C-8), 146.2 (C-7), 129.2 (C-2, 6), 131.4 (C-4), 130.1 (C-3, 5), 135.9 (C-1)。以上数据与文献 [22] 报道基本一致, 故鉴定为肉桂酸。

化合物 **17**: 无色针状结晶, ESI-MS m/z : 169.2 [M+H]⁺。¹H-NMR (500 MHz, CD₃OD) δ : 7.53 (2H, m, H-2, 6), 6.83 (1H, d, $J=8.7$ Hz, H-5), 3.87 (3H, s, -OCH₃); ¹³C-NMR (125 MHz, CD₃OD) δ : 170.2 (C-7), 123.2 (C-6), 113.8 (C-5), 152.6 (C-4), 148.6 (C-3), 115.8 (C-2), 125.2 (C-1), 56.4 (C-OCH₃)。以上数据与文献 [23] 报道基本一致, 故鉴定为香草醛。

化合物 **18**: 白色固体粉末, ESI-MS m/z : 153.2 [M+H]⁺。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 9.71 (1H, s, H-7), 7.42 (2H, dd, $J=8.3, 2.0$ Hz, H-6, 2), 3.91 (3H, s, -OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 192.7 (C-7), 128.4 (C-6), 116.6 (C-5), 156.2 (C-4), 150.1 (C-3), 111.1 (C-2), 130.9 (C-1), 56.3 (C-OCH₃)。以上数据与文献 [24] 报道基本一致, 故鉴定为香草醛。

化合物 **19**: 白色粉末, ESI-MS m/z : 137.2 [M+H]⁺。¹H-NMR (500 MHz, CD₃OD) δ : 7.89 (2H, d, $J=8.7$ Hz, H-2, 6), 9.75 (1H, s, 4-OH), 6.84 (2H, d, $J=8.7$ Hz, H-3, 5); ¹³C-NMR (125 MHz, CD₃OD) δ : 198.5 (C-7), 132.1 (C-2, 6), 164.0 (C-4, -OH), 130.2 (C-1), 116.2 (C-3, 5), 26.3 (C-OCH₃)。以上数据与文献 [25] 报道基本一致, 故鉴定为 4-羟基苯乙酮。

化合物 **20**: 淡黄色粉末, ESI-MS m/z : 123.1 [M+H]⁺。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 9.75 (1H, s, 1-CHO), 7.77 (2H, d, $J=8.7$ Hz, H-2, 6), 6.91 (2H, d, $J=8.7$ Hz, H-3, 5); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 192.8 (C-CHO), 165.7 (C-1), 133.5 (C-2, 6), 130.1 (C-3, 5), 117.0 (C-4)。以上数据与文献 [26] 报道基本一致, 故鉴定为对羟基苯甲醛。

化合物 **21**: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 271.2 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 6.27 (1H, d, $J=2.2$ Hz, H-6), 6.49 (1H, d, $J=2.2$ Hz, H-8), 7.72 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-2', 6'), 6.82 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-3', 5'); ¹³C-NMR (150

MHz, CD₃OD) δ : 157.4 (C-9), 92.6 (C-8), 164.5 (C-7), 98.4 (C-6), 182.7 (C-4), 103.3 (C-3, 10), 164.9 (C-2), 159.0 (C-5, 4'), 129.0 (C-2', 6'), 122.1 (H-1'), 116.3 (C-3', 5')。以上数据与文献 [27] 报道基本一致, 故鉴定为 5, 7, 4'-三羟基黄酮。

化合物 **22**: 黄褐色胶状物, ESI-MS m/z : 361.4 [M+H]⁺。¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD) δ : 6.68 (1H, d, J =1.7 Hz, H-2), 6.66 (1H, s, H-2'), 6.64 (1H, dd, J =8.0, 1.9 Hz, H-6), 6.21 (1H, s, H-5'), 3.82 (1H, m, H-7), 3.81 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.78 (3H, s, 3-OCH₃), 3.69 (2H, dd, J =10.9, 4.2 Hz, H-9), 3.35 (2H, d, J =15.9 Hz, H-9'), 2.80 (2H, d, J =7.7 Hz, H-7'), 2.00 (1H, m, H-8'), 1.79 (1H, tt, J =10.1, 3.5 Hz, H-8); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD) δ : 138.6 (C-1), 129.0 (C-1'), 113.8 (C-2), 112.4 (C-2'), 149.0 (C-3), 147.2 (C-3'), 145.9 (C-4), 145.3 (C-4'), 117.3 (C-5'), 116.0 (C-5), 134.2 (C-6'), 123.2 (C-6), 48.1 (C-7), 33.6 (C-7'), 48.0 (C-8), 40.0 (C-8'), 66.0 (C-9'), 62.2 (C-9), 56.4 (3'-OCH₃), 56.3 (3-OCH₃)。以上数据与文献 [28] 报道基本一致, 故鉴定为异落叶松脂素。

化合物 **23**: 白色结晶, ESI-MS m/z : 385.4 [M+Na]⁺。¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD) δ : 6.68 (2H, d, J =7.9 Hz, H-5, 5'), 6.61 (2H, d, J =1.9 Hz, H-2, 2'), 6.56 (2H, dd, J =8.0, 1.9 Hz, H-6, 6'), 3.75 (6H, s, 3, 3'-OCH₃), 3.59 (4H, m, H-9, 9'), 2.68 (2H, dd, J =13.8, 6.9 Hz, H-7a, 7'a), 2.57 (2H, dd, J =13.8, 7.8 Hz, H-7b, 7'b), 1.92 (2H, s, H-8, 8'); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD) δ : 148.8 (C-3, 3'), 145.5 (C-4, 4'), 133.9 (C-1, 1'), 122.7 (C-6, 6'), 115.8 (C-5, 5'), 113.4 (C-2, 2'), 62.1 (C-9, 9'), 56.2 (3-OCH₃), 44.1 (C-8, 8'), 36.0 (C-7, 7')。以上数据与文献 [29] 报道基本一致, 故鉴定为开环异落叶松树脂酚。

化合物 **24**: 淡黄色结晶, ESI-MS m/z : 359.3 [M+H]⁺。¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD) δ : 6.67 (1H, d, J =8.3 Hz, H-5', 6''), 6.57 (2H, d, J =5.9 Hz, H-3', 3'', 7', 7''), 5.88 (2H, s, H-8', 8''), 3.56 (2H, d, J =4.8 Hz, H-1, 4), 2.61 (2H, qd, J =13.8, 7.2 Hz, H-1', 1''), 1.89 (1H, t, J =6.5 Hz, H-2, 3); ¹³C-NMR (100 MHz,

CD₃OD) δ : 149.0 (C-4', 4''), 147.1 (C-5', 5''), 136.2 (C-2', 2''), 123.1 (C-7', 7''), 110.3 (C-3', 3''), 108.8 (C-6', 6''), 102.0 (C-8', 8''), 61.8 (C-1, 4), 44.5 (C-2, 3), 36.1 (C-1', 1'')。以上数据与文献 [30] 报道基本一致, 故鉴定为 meso-2, 3-di (3', 4'-methylenedioxybenzyl) butane-1, 4-diol。

4 酪氨酸酶抑制活性研究

4.1 溶液制备

4.1.1 酪氨酸酶溶液 取 25 kU 酪氨酸酶适量, 加入 25 mL 磷酸盐缓冲液 (0.01 mol/L, pH=6.5), 混匀, 分装成 25 管, 酶活性 1 000 U/mL, 分别精密吸取 0.25 mL, 加入 0.75 mL 磷酸盐缓冲液, 即得 (250 U/mL), 置于-20 ℃冰箱中保存。

4.1.2 *L*-酪氨酸溶液 取 *L*-酪氨酸 2 mg, 置于 50 mL 离心管中, 加入 20 mL 磷酸盐缓冲液, 吹打混匀, 即得 (0.1 mg/mL), 现用现配。

4.1.3 样品溶液 精密称取各样品 1 mg, 置于 2 mL 离心管中, 加入 30 μ L DMSO 溶解, 再加入 970 μ L 磷酸盐缓冲液, 吹打混匀, 即得 (1 mg/mL), 磷酸盐缓冲液依次稀释至 1、0.5、0.25、0.125、0.062 5、0.031 25 mg/mL。

4.2 抑制率测定 设置样品反应组 (40 μ L 不同质量浓度化合物+40 μ L 酪氨酸酶溶液)、样品对照组 (40 μ L 不同质量浓度化合物+40 μ L 磷酸盐缓冲液)、试剂反应组 (40 μ L 酪氨酸酶溶液+40 μ L 磷酸盐缓冲液)、试剂对照组 (80 μ L 磷酸盐缓冲液), 以 β -熊果苷为阳性药, 在 37 ℃下孵育 10 min, 每孔加入 40 μ L *L*-酪氨酸溶液, 在 37 ℃下孵育 20 min, 采用酶标仪在 492 nm 波长处测定吸光度 (A), 每孔平行 3 次, 计算酪氨酸酶抑制率及 IC₅₀值, 公式为酪氨酸酶抑制率= [1- ($A_{\text{样品反应组}}$ - $A_{\text{样品对照组}}$) / ($A_{\text{试剂反应组}}$ - $A_{\text{试剂对照组}}$)] $\times$ 100%。

结果, 筛选出活性较强的 6 个化合物, 分别为化合物 **3**、**5**、**7**、**8**、**19**、**20**, IC₅₀值见表 1。由此可知, 化合物 **3** 对酪氨酸酶的抑制作用最强, **7**、**19**、**20** 强于阳性药, **8**、**16** 与阳性药相当。

5 讨论与结论

酪氨酸酶的转运及其活性是黑色素合成的关键^[31], 故通过抑制前者活性可减少后者合成。本实验采用酪氨酸酶与 *L*-酪氨酸反应的方法, 其原理为前者可催化后者生成 *L*-多巴, 进而生成色素物质^[32], 并通过吸光度变化来探究鹿仙草乙酸乙酯部位化学成分对酪氨酸酶活性的抑制作用。

表 1 各化合物对酪氨酸酶的 IC₅₀ 值 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

Tab.1 IC₅₀ value of each compound on tyrosinase ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

化合物	IC ₅₀ / (mmol·L ⁻¹)
β-熊果苷	1.382 2±0.248 3
3	0.246 5±0.028 3 **
5	1.253 0±0.388 3 *
7	0.431 5±0.027 2 **
8	1.278 2±0.021 3 *
16	2.546 6±0.531 9
19	1.070 1±0.059 5 **
20	1.152 1±0.168 7 *
23	1.948 0±0.043 0

注：与 β-熊果苷比较, * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

酪氨酸酶是一种含铜螯合剂，许多芳香族酸、酚类、多酚类化合物可通过模仿其底物来竞争性地抑制该酶。美白活性较好的曲酸、熊果苷为酚类成分，具有很强的酪氨酸酶抑制活性。本实验从鹿仙草乙酸乙酯部位中分离得到的化合物中，木质素类与酚酸类较多，并且酪氨酸酶抑制活性较强的化合物为简单酚类与黄酮类，表明该部位可能具有美白活性。另外，化合物 3 对酪氨酸酶抑制活性的 IC₅₀ 值为 $(2.47\pm0.28)\times10^{-4}$ mol/L，与文献 [33] 报道的 $(1.94\pm0.35)\times10^{-5}$ mol/L 相差约 10 倍，可能是由于材料制造商、实验条件（如酪氨酸酶浓度、孵育温度和时间）差异所致，需进一步研究。

综上所述，本实验从鹿仙草乙酸乙酯部位分离得到 24 个化合物，其中黄酮类 6 个，香豆素类 1 个，木质素类 8 个，酚酸类 9 个，并且化合物 1~9、11、15、17~21、24 为首次从该植物中分离得到，1、6、9、17~19、24 为首次从蛇菰属植物中分离得到；化合物 3、5、7、8、19、20 具有良好的酪氨酸酶抑制活性，效果优于阳性药 β-熊果苷，而化合物 3、7、19、20 抑制作用也较强。上述结果可为鹿仙草化学成分在美白方面的开发利用提供参考依据。

参考文献：

[1] 孟 芹, 马克坚. 鹿仙草的生药鉴定[J]. 中药材, 1998(5): 226-227.

[2] 陈吉炎, 李 聪, 王雪芹, 等. 蛇菰属药用植物的种类与研究进展[J]. 时珍国医国药, 2010, 21(8): 2032-2034.

[3] 云南省食品药品监督管理局. 云南省中药材标准 (2005 年版第 1 册) [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2010.

[4] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志 (第 24 卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1988.

[5] 白树勋, 张绍云, 徐国辉, 等. 鹿仙草 “B” 抗肝癌的研究[J]. 云南中医杂志, 1984(3): 53-54.

[6] 李 岗, 钊定泽. 常用祛斑美白剂作用机理研究[J]. 精细与专用化学品, 2024, 32(7): 11-21.

[7] 吴美婷, 刘诗瑶, 黄达龙, 等. 芳樟叶的化学成分及其抗炎活性研究[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(14): 3592-3598.

[8] 程子洋, 柯仲成, 张愉快, 等. 木槿的化学成分研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(3): 331-338.

[9] 刘瀚琳, 何席呈, 刘晓龙, 等. 虎耳草乙酸乙酯部位的化学成分研究[J]. 广州化工, 2023, 51(4): 45-47.

[10] Luo W, Yan S, Xiao X, *et al.* Chemical constituents from the leaves of *Alsophila spinulosa*[J]. *Chem Nat Compd*, 2022, 58(12): 1150-1151.

[11] Liu X Y, Ji C J, Peng W W. Chemical constituents from *Citrus aurantium* L. [J]. *Chin Pharm J*, 2018, 53(19): 1627-1631.

[12] 郑飞龙, 罗跃华, 魏孝义, 等. 千金子中非萜类化学成分的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2009, 17(3): 298-301.

[13] 董丽梅, 孔令熙, 陈玳欣, 等. 无花果中黄酮类化学成分及抗氧化活性研究[J]. 食品安全导刊, 2023 (34): 93-95; 99.

[14] 金红兰, 金 美, 张昌浩, 等. 榆树茎皮的化学成分研究[J]. 延边大学医学学报, 2013, 36(1): 29-31.

[15] 王雪晶, 罗 鑫, 周建明, 等. 大株红景天化学成分及其心肌细胞保护活性研究[J]. 中草药, 2016, 47 (16): 2822-2826.

[16] 孙志国, 马延蕾, 唐进英, 等. 长序三宝木枝叶中化学成分研究[J]. 广东化工, 2018, 45(7): 39-40.

[17] 王 静, 晏永明, 谭 睿, 等. 虫类中药蛭螭的酚性成分[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(5): 622-623; 626.

[18] 彤 霖, 王 波, 宋旭艳, 等. 咖啡豆乙醇部位的化学成分研究[J]. 华中师范大学学报 (自然科学版), 2023, 57(4): 548-553.

[19] 侯 勇, 厉博文, 张广杰, 等. 杨树花化学成分的分离鉴定 II [J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(23): 77-81.

[20] 刘贤贤, 覃丽清, 经孝腾, 等. 尾穗苣化学成分及其抗氧化活性[J]. 中成药, 2023, 45(6): 1870-1876.

[21] Yang C S, Mao H Y, Qi X N, *et al.* Chemical constituents from the stems of *Ostodes paniculata* Bl. (Euphorbiaceae) [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2024, 113: 104807.

[22] 杨 敏, 侯少平, 周 蕊, 等. 柠檬草乙醇提取物的化学成分研究[J]. 化学与生物工程, 2024, 41(9): 28-33.

[23] 曾 妮, 苏 维, 张琼丹, 等. 异型南五味子根的化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2024, 49(6): 1549-1557.

[24] 梅宇飞, 张寅燕, 杨 彤, 等. 滇产九里香化学成分研究[J]. 云南民族大学学报 (自然科学版), 2022, 31(5): 501-503.

[25] 陈 玉, 杜 艳, 滕海达, 等. 打箭菊化学成分研究[J]. 中南民族大学学报 (自然科学版), 2020, 39(5): 483-487.

[26] 邓旭坤, 余惠凡, 刘 钊, 等. 绵草薹化学成分研究 (I) [J]. 中南民族大学学报 (自然科学版), 2017, 36(2): 53-55; 59.

[27] 王呈文, 钟秋梅, 江炜钰, 等. 毛麝香乙酸乙酯部位的化学

成分研究[J]. 生物化工, 2023, 9(3): 41-44; 50.

[28] 何芷芸, 石松云, 魏雪娇, 等. 地枇杷的化学成分及抗氧化活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2022, 34(5): 810-817.

[29] 肖春荣, 黄伟明, 陈芳有, 等. 单叶蔓荆果实的化学成分研究[J]. 中药材, 2022, 45(1): 96-100.

[30] Yu L L, Liu J C, Yu L Q, *et al.* Chemical constituents of seed oil leavings of *Xanthoceras sorbifolia*[J]. *Chem Nat Compd*, 2018, 54(4): 769-771.

[31] 郭跃跃, 杜站宇, 宋兴超, 等. 酪氨酸酶转运对黑色素生成影响研究进展[J]. 动物医学进展, 2017, 38(3): 110-114.

[32] 李晓雯, 王春丽. 金露梅在酪氨酸酶催化中的抑制机理[J]. 中成药, 2020, 42(6): 1585-1588.

[33] Fan M H, Zhang G W, Hu X, *et al.* Quercetin as a tyrosinase inhibitor: Inhibitory activity, conformational change and mechanism[J]. *Food Res Int*, 2017, 100: 226-233.

降香黄檀心材二氯甲烷部位化学成分研究

徐维欣^{1,2}, 朱 清^{1,2}, 戴 兴^{1,2}, 陈兰英^{2,3}, 刘荣华^{1,2*}
(1. 江西中医药大学药学院, 江西 南昌 330004; 2. 江西中医药大学中药药效物质基础江西省重点实验室, 江西 南昌 330004; 3. 中药固体制剂制造技术国家工程研究中心, 江西 南昌 330006)

摘要: **目的** 研究降香黄檀心材二氯甲烷部位化学成分。**方法** 采用硅胶、Sephadex LH-20、薄层色谱及半制备 HPLC 进行分离纯化, 根据理化性质及波谱数据鉴定所得化合物的结构。**结果** 从中分离得到 24 个化合物, 分别鉴定为 7, 2'-dihydroxy-4'-methoxy-isoflavanol (1)、vanillin (2)、2, 2'-oxybis (1, 4-di-tert-butylbenzene) (3)、7-hydroxy-6-methoxyflavone (4)、sativan (5)、5-hydroxy-4', 7-dimethoxyisoflavone (6)、2-hydroxy-4, 4'-dimethoxychalcone (7)、7, 2', 3', 4'-tetramethoxydihydroisoflavone (8)、2, 4, 2'-trihydroxy-4'-methoxybenzil (9)、ethyl-3-hydroxy-3-phenyl-2-propenoat (10)、6, 7-dimethoxy-2, 3-dihydrochromene-4-one (11)、sophorophenolone (12)、apocynin (13)、ethyl-2, 4-dihydroxybenzoate (14)、ethylparaben (15)、methyl-2, 4-dihydroxybenzoate (16)、5, 7-dihydroxy-6-methoxyflavanone (17)、7-hydroxyflavanone (18)、mimosifoliol (19)、7-hydroxy-4'-methoxyisoflavane (20)、virolane (21)、5-hydroxy-7-methoxychromone (22)、3-hydroxyl-5-methoxy-stilbene (23)、2', 4'-dihydroxydihydrochalcone (24)。**结论** 化合物 8 为新天然产物, 2~6、15、17~18 为首次从该植物中分离得到, 7、9~14、16、20~24 为首次从黄檀属植物中分离得到。**关键词:** 降香黄檀; 心材; 二氯甲烷部位; 化学成分; 分离鉴定
中图分类号: R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1528(2025)10-3297-09
doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2025.10.019

Chemical constituents from dichloromethane fraction of *Dalbergia odorifera* heartwood

XU Wei-xin^{1,2}, ZHU Qing^{1,2}, DAI Xing^{1,2}, CHEN Lan-ying^{2,3}, LIU Rong-hua^{1,2*}
(1. School of Pharmacy, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China; 2. Jiangxi Provincial Key Laboratory for Effective Material Basis of Traditional Chinese Medicine, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China; 3. National Pharmaceutical Engineering Center for Solid Preparation of Chinese Herbal Medicine, Nanchang 330006, China)

ABSTRACT: AIM To study the chemical constituents from dichloromethane fraction of *Dalbergia odorifera* T. Chen heartwood. **METHODS** Separation and purification were performed using silica gel, Sephadex LH-20, thin-layer chromatography, and semi-preparative HPLC, then the structures of obtained compounds were identified by physicochemical properties and spectral data. **RESULTS** Twenty-four compounds were isolated and identified as 7, 2'-dihydroxy-4'-methoxy-isoflavanol (1), vanillin (2), 2, 2'-oxybis- (1, 4-di-tert-butylbenzene) (3),

收稿日期: 2025-03-21
基金项目: 国家自然科学基金项目 (82160732); 江西省自然科学基金重点项目 (20224ACB206043)
作者简介: 徐维欣 (1999—), 男, 硕士生, 研究方向为中药药效物质基础。E-mail: 3118291717@qq.com
* 通信作者: 刘荣华 (1964—), 男, 博士, 教授, 研究方向为中药药效物质基础及其质量评价。E-mail: rhliu@163.com